

Ο ΜΑΓΝΗΤΟΠΥΡΙΤΗΣ ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ
ΣΕ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΤΑΛΛΟΓΕΝΕΣΗ ΤΗΣ ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΕΡΙΦΟΥ

ΥΠΟ ΔΗΜ. ΚΙΣΚΥΡΑ *

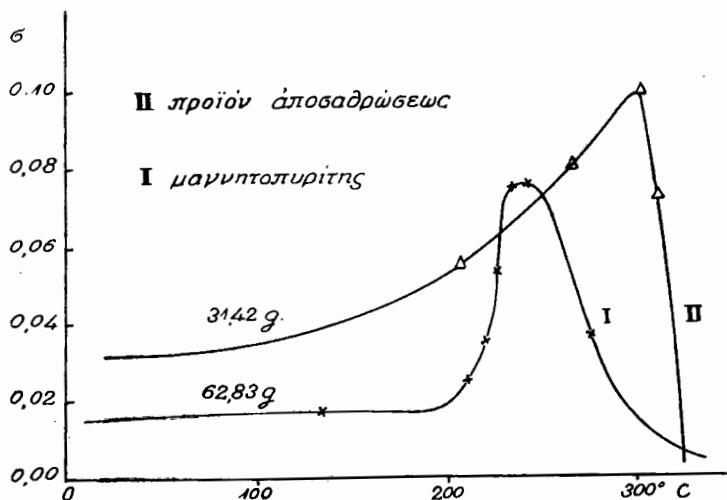
Στὴν περιοχή τοῦ Λαυρίου μεταξύ τῶν ἄλλων μεταλλοφόρων ὀρυκτῶν συναντᾶται καὶ μαγνητοπυρίτης, ἰδίᾳ στὴν περιοχή τῆς Πλάκας κοντὰ στὴν ἐμφάνιση τοῦ γρανοδιορίτη. Ὁ ΜΑΡΙΝΟΣ (13 καὶ 14) ποὺ ἐμελέτησε τὴν περιοχή αὐτὴ ἀπὸ πετρολογικὴ καὶ κοιτασματολογικὴ ἄποψη μιλεῖ γιὰ μεταμόρφωση ἐξ ἐπαφῆς τῶν μαρμαρυγιακῶν σχιστολίθων τῆς περιοχῆς Πλάκας σὲ ἄσβεστοῦχο κερατίνη (πλακίτη) καὶ μετατροπὴ τοῦ σιδηροπυρίτη ποὺ ὑπῆρχε μέσα στοὺς σχιστολίθους ἀπὸ προηγούμενη μεταλλοφορία σὲ μαγνητοπυρίτη. Τὴν ἐκδοχὴ αὐτὴ στηρίζει κυρίως στὴν παρατήρηση, ὅτι τὸ θειοῦχο μετάλλευμα ποὺ βρίσκεται πολὺ κοντὰ στὴ γρανιτικὴ μάζα εἶναι μαγνητοπυρίτης, ἐνῶ πιὸ μακριὰ τὸ μετάλλευμα διαφέρει ἀπὸ τὸ μαγνητοπυρίτη καὶ μοιάζει, τοῦ σιδηροπυρίτη σὲ ὅτι ἀφορᾷ τὸ χρῶμα, σκληρότητα καὶ εἰδικὸ βάρος. Ἐπίσης στὸ ὅτι ὅπου τὸ ὕλικὸ αὐτὸ μοιάζει τοῦ σιδηροπυρίτη στὸ χρῶμα καὶ στὶς χημικὲς ἀντιδράσεις, ὅχι ὁμως στὴ σκληρότητα, εἶναι ἀρκετὰ μαγνητικό.

Ὅπως ἀναφέρεται σὲ παλαιότερη ἐργασία (7), ἡ μικροσκοπικὴ ἐξέταση σὲ μεταλλογραφικὸ μικροσκόπιο δειγμάτων ἀπὸ τὸ μαγνητικὸ ὄρυκτο τοῦ Λαυρίου ποὺ μοιάζει μὲ σιδηροπυρίτη ἔδειξε ὅτι ἐδῶ δὲν προκειται γιὰ σιδηροπυρίτη ἀλλὰ γιὰ ἓνα ἐνδιάμεσο προϊόν ἀποσαθρώσεως τοῦ μαγνητοπυρίτη. Κατὰ τὴν ἀποσαθρῶση αὐτὴ ὀξειδοῦται ἓνα μέρος τοῦ σιδήρου καὶ ἀπομακρύνεται σὲ μορφὴ διαλύματος (18) ὁπότε αὐξάνει ἡ περιεκτικότητά τοῦ ἀποσαθρωμένου μαγνητοπυρίτη σὲ θειάφι, ὥστε νὰ παρουσιάξῃ περίπου τὴ χημικὴ σύσταση τοῦ σιδηροπυρίτη ἢ μαρκασίτη μὲ τὰ ὁποῖα πολλὰς φορὰς γίνεται σύγχυση (22 καὶ 23). Ἡ μαγνητικὴ ἐπίσης ἐξέταση τοῦ ὕλικου αὐτοῦ ἔδειξε, ὅτι ἐδῶ δὲν πρόκειται γιὰ σιδηροπυρίτη ἀλλὰ γιὰ ἓνα μαγνητοπυρίτη πολὺ πλούσιο σὲ θειάφι. Ἐδῶ θὰ ἐξετασθοῦν αἱ συνθῆκες σχηματισμοῦ τοῦ μαγνητοπυρίτη τοῦ Λαυρίου μὲ βάση τὶς μαγνητικὲς του ιδιότητες καὶ τὴ μικροσκοπικὴ διερεύνηση δειγμάτων αὐτοῦ, ὅπως ἐπίσης τὸ ζήτημα τῆς προελεύσεώς του σὲ συνδυασμὸ μὲ τὴ μεταλλογένεση γενικὰ τῆς Λαυρεωτικῆς καὶ Σερίφου.

* KISKYRAS, D.— Der magnetkies von Lavrion in Beziehung auf die Erzbildung von Lavriotiki und Insel Seriphos.

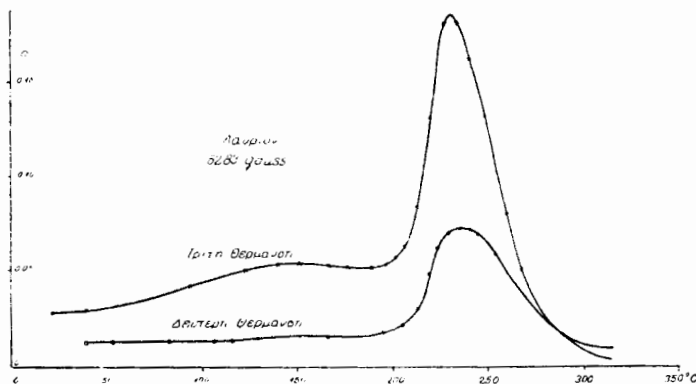
Α. ΜΑΓΝΗΤΟΠΥΡΙΤΗΣ

Ἡ Μαγνητική ἔρευνα. Ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας Λαυρίου (γεώτρηση Κουρόρας) μὲ μικρὴ περιεκτικότητα σὲ θειάφι, $\text{FeS}_{1,105}$, παρουσιάζει μικρὴ μαγνητικὴ ἐπιδεκτικότητα, μεγάλη συνεκτικὴ δύναμη, χα-



Σχ. 1. Θερμομαγνητικά διαγράμματα. I μαγνητοπυρίτης Λαυρίου. II ἐνδιάμεσον προϊόν ἀποσαθρώσεως αὐτοῦ.

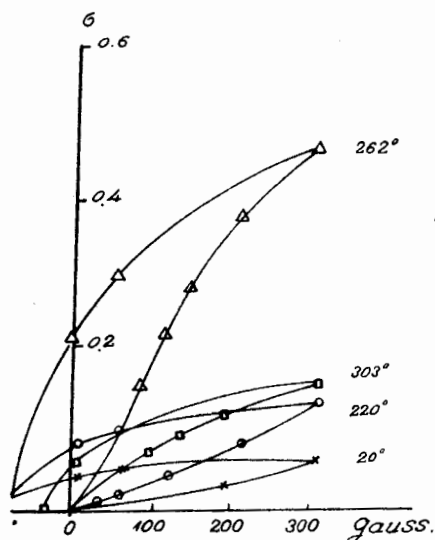
μηλό σημεῖο Curie, γύρω στοὺς 280°C , καὶ μαγνητικὲς μετατροπὲς σὲ ὑψηλὲς θερμοκρασίες. Γιὰ τὸ λόγο αὐτὸ κατατάσσεται στοὺς μαγνητοπυρίτες α—τύπου ποὺ σχηματίσθησαν σὲ ὑψηλὲς θερμοκρασίες καὶ πιέσεις (ἀλλὰ μέτριες χωριστὲς πιέσεις θειαφιοῦ) ὅπως εἶναι οἱ μαγματικοί, πη-



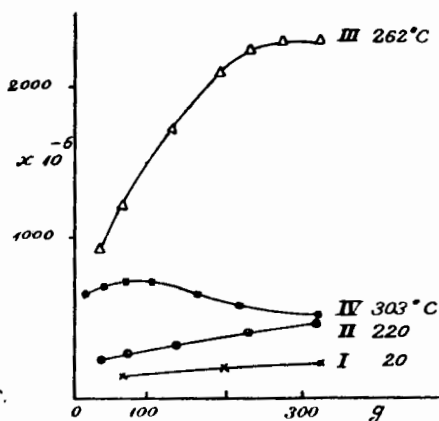
Σχ. 2. Μαγνητικά διαγράμματα σὲ διαδοχικὲς θερμάνσεις. Ψηφιακὴ Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

γματιτικοί και πνευματολυτικοί σχηματισμοί, επίσης σε κοιτάσματα έπαφης (8). Τοὐναντίον οἱ μαγνητοπυρίτες β—τύπου εἶναι πλουσιώτεροι σε θειάφι, σχηματίσθησαν σε χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση (συνήθως ὑδροθερμικοί) εἶναι περισσότεροι μαγνητικοί, ἔχουν ὑψηλότερο CP, γύρω στους 320° C, και δὲν παρουσιάζουν μαγνητικές μετατροπές όταν θερμανθοῦν.

Ἀπὸ τὸ σχ. 1 φαίνεται ὅτι τὸ ἐνδιάμεσο προϊόν ἀποσαθρώσεως τοῦ μαγνητοπυρίτη τῆς Πλάκας - Λαυρίου πρέπει νὰ καταταχθῇ στους μαγνητοπυρίτες β—τύπου. Στὸ σχ. 2 διακρίνονται οἱ μαγνητικές μετατροπές τοῦ μαγνητοπυρίτη Λαυρίου, ἡ γ—μετατροπὴ μεταξύ 220—240° C και ἡ δ—μετατροπὴ μετὰ τὴν τρίτη θέρμανση τοῦ μεταλλεύματος σε θερμοκρα-



Σχ. 3. Βρόχοι μαγνητικής ὑστερήσεως σε διάφορες θερμοκρασίες (Μαγνητοπυρίτης Λαυρίου).



Σχ. 4. Μαγνητικές ἐπιδεκτικότητες σε διάφορες θερμοκρασίες. (Μαγνητοπυρίτης Λαυρίου).

σία 120—160° C. Ἐνδιαφέρουσα εἶναι ἡ γ—μετατροπὴ γιατί χάρη σε αὐτὴ ἡ παραμαγνητικὴ α—μορφή τοῦ μαγνητοπυρίτη μεταπίπτει στὴ σιδηρομαγνητικὴ β—μορφή, ποὺ διατηρεῖται κατόπι και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τὴν ἐπίδραση τῆς γ—μαγνητικῆς μετατροπῆς βλέπει κανεὶς και στὰ σχ. 3 και 4 ὅπου δίδονται βρόχοι μαγνητικῆς ὑστερήσεως σε διάφορες θερμοκρασίες. Ἐπειτα ἀπὸ τὴν ψύξη τῶν δειγμάτων πάρθηκαν νέοι βρόχοι ὑστερήσεως, ποὺ παριστάνονται στὸ σχ. 5. Ἐδῶ φαίνεται, ὅτι τὶς μαγνητικὲς ιδιότητες ποὺ ἀπέκτησε ὁ μαγνητοπυρίτης σὲς ὑψηλές θερμοκρασίες τὶς διετήρησε και μετὰ τὴ ψύξη του, φαίνεται ἀκόμη ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης τοῦ Λαυρίου ἔπειτα ἀπὸ κάθε θέρμανση γίνεται πὺ μαγνητικός, ποὺ σημαίνει ὅτι στὴν πρώτη θέρμανση δὲν μετατράπηκε ὅλη ἡ ποσότητα

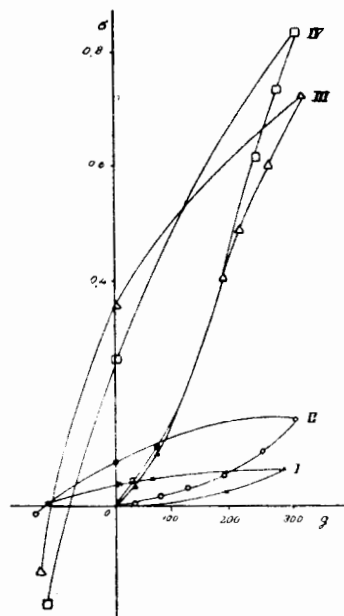
Ψηφιακὴ Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

τοῦ μαγνητοπυρίτη στὴ b—σιδηρομαγνητικὴ μορφή ἀλλὰ μόνον ἓνα μέρος. Μετὰ τὴν τελευταία θέρμανση ποὺ πέρασε τὴ θερμοκρασίᾳ Curie, ὁ μαγνητοπυρίτης τοῦ Λαυρίου ἔγινε ἀρκετὰ σιδηρομαγνητικός. Στὴν καμπύλη IV διακρίνεται, ἐκτὸς ἀπὸ τὴν ὑψηλὴ μαγνητικὴ ἐπιδεκτικότητα, ὁ μικρὸς παραμένων μαγνητισμὸς καὶ ἡ μικρὴ συνεκτικὴ δύναμη. Στὶς περιπτώσεις αὐτὲς σ παριστᾷ τὴν εἰδικὴ μαγνήτιση δηλ. $\sigma = M/\mu$ ὅπου M ἡ μαγνητικὴ ροπὴ τοῦ ἑξεταζομένου μαγνητικοῦ σώματος καὶ μ ἡ μάζα του, τὸ δὲ χ τὴ μαγνητικὴ ἐπιδεκτικότητά μάζας δηλ. $\chi = \sigma/H - NJ$, ὅπου H ἡ ἔνταση τοῦ χρησιμοποιουμένου μαγνητικοῦ πεδίου, N ὁ συντελεστὴς ἀπομαγνητίσεως καὶ J ἡ ἔνταση μαγνητίσεως.

Ἀπ' αὐτὰ μπορεῖ κανεὶς δύο πράγματα νὰ συμπεράνη, εἴτε ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης τοῦ Λαυρίου σχηματίσθηκε σὲ ὑψηλὲς θερμοκρασίαι χωρὶς ὅμως ἀπὸ τὸ σχηματισμὸ του καὶ δῶθε νὰ ξαναθερμάνθηκε πάνω ἀπὸ 280°C ποὺ εἶναι τὸ CP αὐτοῦ, γιατί θὰ ἔπρεπε τότε νὰ δείχνη σιδηρομαγνητικὲς ιδιότητες καὶ νὰ μὴ παρουσιάζη τὴν γ-μετατροπὴ ὅπως τοῦτο συμβαίνει σὲ ὑπερθερμανθέντες μαγνητοπυρίτες, εἴτε ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης τοῦ Λαυρίου σχηματίσθηκε σὲ χαμηλὲς θερμοκρασίαι (β-τύπος, ὑδροθερμικῆς προελεύσεως) καὶ ἀργότερα θερμάνθηκε ἀπὸ τὸ γρανοδιόριτη πάνω ἀπὸ 325°C , ὥστε νὰ φύγῃ ἓνα μέρος τοῦ S καὶ νὰ μειωθοῦν οἱ μαγνητικὲς του ιδιότητες, νὰ μετατραπῇ δηλ. βαθμιαίᾳ στὴν παραμαγνητικὴ μορφή, μὲ χαμηλὸ σημεῖο Curie, στὴν περίπτωση ὅμως αὐτὴ θὰ ἔπρεπε νὰ ἔχῃ παραγένεση καὶ ἄλλα ὑδροθερμικὰ ὄρυκτά ὅπως γαληνίτη καὶ σφαλερίτη, ποὺ ὅπως θὰ δοῦμε πιὸ κάτω δὲν παρατηρήθηκαν.

Μικροσκοπικὴ ἔρευνα. Ἀπὸ τὴν ἐξέταση σὲ μεταλλογραφικὸ μικροσκόπιο δειγμάτων μαγνητοπυρίτη ἀπὸ τὸ Λαύριο προέκυψε, ὅτι αὐτὰ ἀποτελοῦνται κυρίως ἀπὸ λεπτόκοκκο μαγνητοπυρίτη μέσα στὸν ὁποῖο βρίσκονται καὶ κόκκοι χαλκοπυρίτη. Ὁ μαγνητοπυρίτης παρουσιάζεται σὲ διδύμους κρυστάλλους καὶ δείχνει μία ἀνακρυστάλλωση, ποὺ ἀφίνει νὰ νοηθῇ ὅτι κατὰ κάποιον τρόπο ἔχει κομματιασθεῖ καὶ μετακινηθεῖ. Τὸ στεῖρο τους ὑλικό, ποὺ ἐξετάσθηκε σὲ διαφανῇ παρασκευάσματα παρου-

Ψηφιακὴ Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.



Σχ. 5. Βρόχοι μαγνητικῆς ὑστέρησης. I πρὶν ἀπὸ τὴ θέρμανση. II, III καὶ IV ἔπειτα ἀπὸ τὴ θέρμανση, σὲ 230°C , 262°C καὶ 313°C . (Μαγνητοπυρίτης Λαυρίου).

σιάζει ὄψη μικρολατυποπαγοῦς καὶ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἐπίδοτο καὶ χαλαζία μὲ συνδετική ὕλη ἀπὸ σερικίτη. Ἐδῶ παρατηροῦνται ἀκόμα πεννίνης καὶ γραφτοειδής, ἐπίσης φλεβίδια ἀπὸ χαλαζία καὶ ἀσβεσίτη.

Ἐνδιαφέρο παρουσιάζει τὸ γεγονός, ὅτι ἐδῶ ἀπουσιάζουν τὰ ἄλλα θειοῦχα ὀρυκτά, ὥπως σιδηροπυρίτης, σφαλερίτης καὶ γαληνίτης, ἐπίσης τὰ ὀξειδία σιδήρου μαγνητίτης καὶ αἱματίτης. Ἡ ἀπουσία σφαλερίτη καὶ γαληνίτη δηλοῖ, ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης αὐτὸς δὲν σχηματίσθηκε σὲ χαμηλὲς θερμοκρασίες ὥπως τὰ δύο αὐτὰ ὀρυκτά. Κατὰ τὸν VOGT (25, 600) ὁ σφαλερίτης εἶναι πιὸ διαλυτὸς ἀπ' τὸ μαγνητοπυρίτη σὲ πυριτικά τήγματα καὶ γι' αὐτὸ δὲν ἀποβάλλεται σὲ ὑψηλὲς θερμοκρασίες. Ἀλλὰ καὶ ὁ γαληνίτης καὶ ἄρσеноπυρίτης συγκεντρώνονται στὰ τελευταῖα μαγματικά προϋόντα. Ἡ ἀπουσία ἐπίσης σιδηροπυρίτη ἀπὸ τὰ δείγματα αὐτὰ μαγνητοπυρίτη εἶναι ἐνδεικτικὸ κάπως σημεῖο, ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης τοῦ Λαυρίου σχηματίσθηκε σὲ ὑψηλὴ θερμοκρασία, ἄλλωστε ἔχει παρατηρηθεῖ ὅτι οἱ μαγνητοπυρίτες τοῦ τύπου—α, ὥπως αὐτὸς τοῦ Λαυρίου, στεροῦνται σιδηροπυρίτη, στὴν περίπτωσιν δὲ πού περιέχουν αὐτὸν πρόκειται ἐκεῖ γιὰ δευτερογενῆ σχηματισμό. Ἡ διάλυση FeS βρίσκεται σὲ ἰσορροπία μὲ τὸ μάγμα πρὶν ἀρχίσει ἡ στερεοποίησή του, καὶ ἔτσι ἀρχίζει νὰ ἀποβάλλεται ἀμέσως στὰ πρῶτα θειοῦχα ὀρυκτά, ἐνῶ ἡ διάλυση FeS διατηρεῖ τὴν ἰσορροπία της καὶ σὲ μεταμαγματικά στάδια (25, 596).

Ἡ ἀπουσία ὀξειδίων σιδήρου, μαγνητίτη καὶ αἱματίτη εἶναι συνηθισμένο φαινόμενο σὲ θειοῦχες μεταλλοφόρες διαπλάσεις, γιὰτι ἐκεῖ ἡ παρουσία τῶν θειούχων διαλύσεων δημιουργεῖ ἀναγωγικὸ περιβάλλον πού ἐμποδίζει τὴν ὀξειδωση. Ἔτσι πολλὲς φορὲς ἔχει παρατηρηθῇ μία ἀντιπᾶθεια μεταξὺ ὀξειδίων σιδήρου καὶ σουλφιδίων γενικῶς πού κατὰ τὸν GILBERT (4) εἶναι πιὸ ἔντονη μεταξὺ μαγνητοπυρίτη καὶ αἱματίτη.

Τὸ συμπέρασμα λοιπὸν τῆς μικροσκοπικῆς ἐξετάσεως σὲ συνδυασμὸ μὲ τὴ μαγνητική, εἶναι ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας σχηματίσθηκε σὲ ὑψηλότερη θερμοκρασία ἀπὸ τὰ ἄλλα θειοῦχα ὀρυκτά τῆς περιοχῆς τοῦ Λαυρίου. Ἐπομένως δὲν πρόκειται ἐδῶ γιὰ ὑδροθερμικὸ σχηματισμὸ προγενέστερο ἀπὸ τὸν γρανοδιορίτη πού ἀλλοιώθηκε κοντὰ στὸ μάγμα ἀπὸ ὑπερθέρμανση, ἀλλὰ γιὰ πνευματολυτικὸ σχηματισμὸ γύρω ἀπὸ τὸ γρανοδιορίτη. Ἡ ἀνακρυστάλλωση πού παρουσιάζει τὸ ὀρυκτὸ αὐτὸ δὲν σημαίνει ὅτι εἶναι προγενέστερος σχηματισμὸς ἀπὸ τὴν ἄνοδο τοῦ γρανοδιορίτη γιὰτι ἐφ' ὅσον ὁ μαγνητοπυρίτης κρυσταλλώθηκε μέσα σὲ πετρώματα πού ἄρχισαν ἀμέσως μὲ τὴν ἀποβολὴ τοῦ ὀρυκτοῦ αὐτοῦ νὰ μεταμορφώνονται, ἦταν φυσικὸ νὰ ὑποστῇ καὶ αὐτὸς ἓνα ἀνακάτωμα καὶ μετάθεση τῶν κρυστάλλων του, ὥπως συμβαίνει στὶς μεταμορφώσεις καὶ ἰδιαίτερα τῆς ἐπαφῆς (19), ὁ μαγνητοπυρίτης ἄλλωστε ἀνακρυσταλλώνεται εὐκολώτερα ἀπὸ πολλὰ ἄλλα ὀρυκτά (22, 54). Τὸ ὅτι τὸ στεῖρο ὑλικὸ τοῦ μεταλλεύματος ἀπὸ μαγνητοπυρίτη παρουσιάζει ὄψη μικρολατυποπαγοῦς, ἀφίνει νὰ υποθέσουμε ὅτι ἡ περιοχὴ αὕτῃ ὑπέστη τὴν ἐπίδραση ὀρογενετικῶν πιέσεων καὶ

Ψηφιακὴ Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

μετὰ τὴν ἄνοδο τοῦ γρανοδιορίτη. Οἱ πιέσεις αὐτὲς ἦσαν ἀσθενεῖς γιατί δὲν κατώρθωσαν νὰ διαρρήξουν τὸν ἀνθεκτικώτατο γρανοδιορίτη, θρυμματίσαν ὅμως τοπικὰ τὸν πλακίτη ὥστε νὰ ἀποτεθοῦν ἀργότερα μέσα σιὰ σπασίματα αὐτοῦ ὑδροθερμικὰ ὄρυκτά.

Ἐπειτα ἀπ' αὐτὰ δὲν δικαιολογεῖται ἡ ἔκδοχή, ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης πού βρίσκεται μέσα στὸν πλακίτη τοῦ Λαυρίου ἔχει προέλθει ἀπὸ θέρμανση προϋπάρχοντος σιδηροπυρίτη. Ἡ μετατροπὴ τοῦ σιδηροπυρίτη σὲ μαγνητοπυρίτη κατορθώθηκε στὸ ἐργαστήριό στοὺς 574° C, ἐνῶ τὸ ἀντίστροφο στοὺς 550° C. Στὴ βιβλιογραφία ἀναφέρεται ἀκόμη ὅτι σὲ πίεση μιᾶς ἀτμοσφαιρᾶς ἡ μετατροπὴ τοῦ σιδηροπυρίτη σὲ μαγνητοπυρίτη γίνεται στοὺς 610° C (3, 156). Αὐτὸ ὅμως δὲν σημαίνει ὅτι οἱ ἀντιδράσεις αὐτὲς προχωροῦν ὁλότελα ἀπεριόριστα στὴ φύση. Ἀπόδειξη γι' αὐτὸ εἶναι, ὅτι ὁ ALLEN καὶ οἱ συνεργάτες του δὲν μπόρεσαν νὰ βροῦν στὴ φύση φανερά δείγματα μετατροπῆς σιδηροπυρίτη σὲ μαγνητοπυρίτη, ἐστηρίχθησαν μονάχα στὴν παρατήρηση ὅτι στὴν ἄλλω μεταμορφώσεως παρουσιάζεται πολὺ συχνὰ μαγνητοπυρίτης ἐνῶ ὁ σιδηροπυρίτης σὲ κάποια σχετικὴ ἀπόσταση. Αὐτὸ ὅμως δὲν σημαίνει ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης σχηματίσθηκε ὑποχρεωτικὰ ἀπὸ σιδηροπυρίτη, δηλοῖ μονάχα ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης αὐτὸς θὰ σχηματίσθηκε σὲ ὑψηλὴ θερμοκρασίᾳ. Στὴ φύση μόνο σὲ λίγες περιπτώσεις καὶ μάλιστα σὲ πολὺ περιορισμένη κλίμακα παρατηρήθηκε σίγουρη μετατροπὴ σιδηροπυρίτη σὲ μαγνητοπυρίτη. Στὸ Bühl (Kassel τῆς Γερμανίας) π. χ. βρέθηκαν μέσα σὲ πλαγιόκλαστικὸ βασάλτη πολὺ μικρὰ κομμάτια μαγνητοπυρίτη (ἐναλλογενὲς ἔγκλεισμα) πού σχηματίσθηκε κατὰ ἓνα τρόπο ἀπὸ κάψιμο σιδηροπυρίτη (20). Κάτι ἀνάλογο παρουσιάζουν καὶ μερικοὶ μεμονωμένοι κρύσταλλοι μαγνητοπυρίτη σὲ μεταμορφωσιγενεῖς σχιστολίθους ἐπαφῆς, ὅπου ὁ σιδηροπυρίτης παρουσιάζεται σὲ κάποια ἀπόσταση ἀπὸ τὴν ἄλλω μεταμορφώσεως. Ὅμοια προέλευση ἔχουν καὶ οἱ κόνδυλοι μαγνητοπυρίτη πού βρέθηκαν μέσα σὲ γενέσιους, πλούσιους σὲ ἀνθρακικὰ ὄρυκτά, καὶ πού στὸ μέσο τους παρουσιάζουν κανονικὰ ἓνα μικρὸ κρύσταλλο σιδηροπυρίτη (6). Ἐπειτα ἀπὸ αὐτὰ διερωτᾶται κανεῖς, πῶς εἶναι δυνατό νὰ ἔχη μετατραπεῖ τόσο πολὺς σιδηροπυρίτης στὴν Πλάκα σὲ μαγνητοπυρίτη, ὥστε νὰ παρουσιάζεται σὲ διαστρώσεις καὶ κοίτες μὲ πάχος ἀρκετῶν μέτρων (13, 88) καὶ μάλιστα ἔξω ἀπὸ τὸ γρανοδιορίτη, χώρια πού ὅπως θὰ δοῦμε πιὸ κάτω αὐτὸς δὲν ἦταν καὶ ἀρκετὰ θερμός. Ἀλλὰ καὶ τὸ ὕψος τῆς μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος τοῦ μαγνητοπυρίτη τῆς Πλάκας σὲ σύγκριση μὲ τὶς μαγνητικὲς τιμὲς ἄλλων μαγνητοπυριτῶν ἀποκλείει μιὰ τέτοια προέλευση, ὅπως φαίνεται στὸν πιὸ κάτω πίνακα.

Ὁ μαγνητοπυρίτης τοῦ Bühl εἶναι ὁλότελα παραμαγνητικὸς καὶ μόνον ἔπειτα ἀπὸ θέρμανση πάνω ἀπὸ 240° C ἀποκτᾷ ἀσθενεῖς μαγνητικὲς ιδιότητες (8). (Βλέπε καὶ σχ. 6). Ἀπὸ τὸν πίνακα I βλέπει κανεῖς πῶς αὐξάνει ἡ μαγνητικὴ ἐπιδεκτικότης τῶν μαγνητοπυριτῶν μὲ ἐλάττωσιν τῆς θερμοκρασίας καὶ πιέσεως σχηματισμοῦ τῶν. Ὁ μαγνητοπυρίτης τοῦ

Ἐπειτα ἀπ' αὐτὰ μπορούμε νὰ ποῦμε ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας βγῆκε σὰν αὐτοτελὲς ὄρυκτὸ ἀπὸ τὸ μάγμα ὅπως καὶ τὰ ἄλλα θειοῦχα ὄρυκτὰ τοῦ Λαυρίου μὲ τὴ διαφορὰ ὅτι αὐτὸς σχηματίσθηκε πιὸ κοντὰ στὸ μάγμα δηλαδὴ σὲ ὑψηλὴ θερμοκρασία καὶ πίεση (πνευματολυτικός σχηματισμός), ἐνῶ τὰ ἄλλα θειοῦχα μακρυνὰ ἀπὸ τὸ μάγμα, δηλαδὴ σὲ χαμηλότερη θερμοκρασία καὶ πίεση ἀπ' ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης (ὕδροθερμικά).

Σὲ σχετικὰ ὑψηλὴ θερμοκρασία σχηματίσθηκε ὁ μαῦρος σφαλερίτης τῆς Πλάκας πὺν περιέχει σίδηρο (μαργαρίτης) (17, 145), ὥστε νὰ μπορῇ νὰ θεωρηθῇ σὰν ὑποθερμικὸς σχηματισμός. Στὴν περίπτωσιν αὐτὴ ὁ σίδηρος παρουσιάζεται σὲ μορφή μαγνητοπυρίτη πὺν βρίσκεται μέσα στὸ σφαλερίτη σὰν στερεὰ διάλυση. Εἶναι γνωστὸν (Goldschmidt) ὅτι οἱ ἀκτίνες ἰόντων τοῦ δισθενοῦς σιδήρου καὶ ψευδαργύρου δὲν διαφέρουν μεταξύ τους καὶ γιὰ τὰ δύο εἶναι 0,85 Å. Ἐπίσης τὰ στοιχεῖα αὐτὰ ἔχουν τὶς ἴδιες περίπου διαμέτρους ατόμων, Fe 2,48 Å καὶ Zn 2,66 Å ὥστε σὲ ὑψηλὴς θερμοκρασίαι νὰ μπορῇ ὁ Fe νὰ ὑποκαταστήσῃ τὸν Zn (3,83). Τὸ ἴδιο ἰσχύει καὶ γιὰ τὰ στοιχεῖα Ἰνδίο, Γερμάνιο καὶ Κασσίτερο πὺν διαπιστώθηκαν σὲ ἐμπλουτισμένο μετάλλευμα σφαλερίτη ἀπὸ τὴν Καμάριζα (17, 159). Καὶ αὐτὰ κατὰ προτίμησιν συναντῶνται μέσα στὸ μαῦρο σφαλερίτη. Τοῦναντίον ὁ σφαλερίτης ἀπὸ τὴν τοθεσία Αὐλάκι θὰ πρέπη νὰ θεωρηθῇ σὰν ἐπιθερμικὸς σχηματισμός, σὲ θερμοκρασία 220° C (17, 159), ἀσφαλῶς σὲ ἄλλη, νεώτερη, φάσιν μεταλλογενέσεως. Ὅπου συνυπάρχουν μαῦρος καὶ ἀνοικτὸς καστανὸς σφαλερίτης ἐκεῖ θὰ πρόκειται γιὰ δύο διαφορετικὰ στάδια τῆς μεταλλοφόρου φάσεως.

Β. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ὁ μαγνητοπυρίτης δὲν περιορίζεται μονάχα στὴν Πλάκα, ἀλλὰ παρουσιάζεται καὶ σὲ πολλὰ ἄλλα μεταλλοφόρα κοιτάσματα τῆς Λαυρεωτικῆς, ὅπως στὸ Λουτρό, Τραχυκέρα, Δογάνι, Κάτω Σούνιον κλπ. ὅπου κατὰ τὸν ΜΑΡΙΝΟ (17, 73) εἶναι ἄσχετος ἢ προγενέστερος ἀπὸ τὸ σιδηροπυρίτη. Στὶς θέσεις αὐτὲς ὅπως δείχνει καὶ ἡ παραγένεσις ὁ μαγνητοπυρίτης εἶναι ὑδροθερμικός. Ὁ ἴδιος συγγραφεὺς ἀναφέρει καὶ περιπτώσεις, ὅπου ὁ σιδηροπυρίτης ἔχει προέλθει ἀπὸ μαγνητοπυρίτη (17, 149). Αὐτὸ σημαίνει αὔξησις τῆς χωριστῆς πίεσεως τοῦ H₂S μέσα στὶς διαλύσεις, δηλ. προσκόμισις νέων θειούχων διαλύσεων καὶ συνεπῶς σχηματισμὸς ἐκτὸς ἀπὸ τὸν σιδηροπυρίτη καὶ ἄλλων θειούχων ὄρυκτων. Ἡ μεγάλη ἐξάπλωσις τῆς θειούχας διαπλάσεως στὴ Λαυρεωτικὴ καὶ ἡ ἐδῶ συχνὴ παρουσία τοῦ μαγνητοπυρίτη σύμφωνα μὲ τὰ δεδομένα τῆς βιβλιογραφίας (4, 566), ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης ἔχει τὴ τάσιν νὰ παρουσιάζεται σὲ κοιτάσματα πὺν συνδέονται μὲ μεταλλοφόρα κοιτάσματα καὶ πρὸς αὐτὰ ἀναλογικῶς ἀπὸ ἀνάλογα μικρά,

θά πρέπει νά εἶναι ἐνδεικτικό στοιχείο ὅτι ἡ μεταλλοφορία αὐτή συνδέεται μέ τήν ὑπαρξή κάτω ἀπό τή Λαυρεωτική ἐνός μεγάλου πλουτωνείου σώματος. Γιά τήν ὑπαρξή βαθυλίθου κάτω ἀπό τή Λαυρεωτική ἔχει ἤδη γράψει ὁ ΜΑΡΙΝΟΣ καί μ' αὐτή συνδέει μάλιστα τή μεταλλοφορία τῆς Λαυρεωτικῆς (**13, 14, 16** καί **17**). Τό μέγεθος τοῦ βαθυλίθου αὐτοῦ συνάγεται ὄχι μόνο ἀπό τή μεγάλη ἔκταση τῆς μεταλλοφορίας στή Λαυρεωτική, ἀλλά καί ἀπό τή μακροχρόνια λειτουργία της, πού θά προσπαθήσουμε πιό κάτω νά δείξουμε.

Ἐφ' ὅσον σύμφωνα μέ τὰ πάρα πάνω ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας, πού βρίσκεται μέσα στήν ἄλλω μεταμορφώσεως δέν προέκυψε ἀπό τήν μετατροπή προϋπάρχοντος σιδηροπυρίτη, τότε θά ἀνήκει στήν καθεαυτὸ μεταλλοφορία τοῦ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας, πού σημαίνει ὅτι τὸ σῶμα αὐτὸ ἐκτός ἀπὸ τὸ μαγνητοπυρίτη θά ἔδωσε ἀργότερα διάφορα ἄλλα μεταλλοφόρα, φυσικά ὑδροθερμικά, προϊόντα. Πραγματικά βρέθηκαν τέτοια ὄρυκτά, ἀλλὰ σὲ μικρὴ ποσότητα κοντὰ στή περιοχὴ τοῦ γρανοδιορίτη. Ἐπειδὴ ὅμως τὰ ὄρυκτά αὐτά, γαλνίτης, σφαλερίτης, σιδηροπυρίτης καί ὑδροθερμικὸς μαγνητοπυρίτης, βρίσκονται στήν ἐπαφὴ πλακίτη καί ἀνωτέρου μαρμάρου, δηλ. κοντὰ στὸ γρανοδιορίτη, ὁ σιδηροπυρίτης μάλιστα μέσα σ' αὐτὸν (**17, 62**), συνάγεται ὅτι ἡ μεταλλοφορία αὐτὴ ἀνήκει σὲ ὑδροθερμικὴ φάση χαμηλῆς θερμοκρασίας καί μάλιστα κάτω ἀπὸ 280° C (ἐδῶ ἀνήκει ἐπίσης καί ὁ πεννίνης πού βρίσκεται μέσα στὸ μετάλλευμα τοῦ μαγνητοπυρίτη) καί συνεπῶς ὅτι ὁ γρανοδιορίτης τῆς Πλάκας δέν ἀνέβηκε σὲ ὑψηλὴ θερμοκρασία. Αὐτὸ ἐνισχύει τὴν ἐκδοχὴ ΜΑΡΙΝΟΥ ὅτι ἐδῶ πρόκειται γιὰ ἓνα γρανοδιορίτη πού ἀνέβηκε μεταγενέστερα ἀπὸ τὴν κυρία πτύχωση. Στὴν προκειμένη ὅμως περίπτωσις ὁ ὅρος «μετατεκτονικὸς γρανοδιορίτης» δέν ταιριάζει καί θά πρέπει ν' ἀντικατασταθῇ μέ τὸν ὅρο «ὀψιμοτεκτονικὸς» Spätorogen, γιὰ τὸ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας ἀνέβηκε μὲν ἐκεῖ ἔπειτα ἀπὸ τὴν κυρία φάση τῆς ὀρογενέσεως, ἀλλὰ πρὶν τελειώσει ἡ ὀρογένεσις δηλ. σὲ ὀψιμο στάδιο αὐτῆς, ὅταν οἱ δυνάμεις τῆς πτυχώσεως εἶχαν πιά χαλαρώσει, πιθανώτατα κατὰ τὴν περίοδο τῶν νεοαλπικῶν πτυχώσεων ἐνῶ ὁ βαθυλίθος παλαιότερα, Ὁ SINDOWSKI συνδέει τὴν ἀνοδο τοῦ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας χρονικά μέ τὸ τέλος τῆς αὐστριακῆς φάσεως ὀρογενέσεως μεταξὺ κάτω - καί ἄνω - Κρητιδικοῦ πού δέν εὐσταθεῖ. Τὸ ὅτι ὁ γρανοδιορίτης αὐτὸς δέν ἦταν ἀρκετὰ νωπὸς καί δέν προκάλεσε ἔντονη μεταμόρφωση συνάγεται καί ἀπὸ τὴν ἀπουσία τῶν τυπικῶν ὄρυκτῶν ἐπαφῆς σὲ σχιστολιθικά πετρώματα, ὅπως τοῦ σιλλιμανίτη καί ἀκόμα τοῦ ἀνδαλουσίτη πού ἀφθονεῖ στή μεταμόρφωση ἐπαφῆς Σερίφου (**11** καί **16**) καί ἀπὸ τὴν ἀφθονία ἀλκαλιούχων ἀστρίων στὸν πλακίτη.

Ἐφ' ὅσον λοιπὸν ὁ ὀψιμοτεκτονικὸς γρανοδιορίτης τῆς Πλάκας ἦταν μεταλλοφόρος, ἡ μεταλλοφορία τοῦ συνορογενετικοῦ βαθυλίθου (**20**) ἀπὸ τὸν ὁποῖον προῆλθε θά συνεχίσθηκε καί στοὺς μετατεκτονικοὺς χρόνους, δηλ. σὲ ἑκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Κατὰ τὸν ΜΑΡΙΝΟ ἡ μεταλλοφορία αὐτὴ

προσέβαλε τὸ Μειόκαινο, πιθανῶς τὸ Ἑλβέτιο (17, 220). Ἡ διείσδυση ἐδῶ τοῦ βαθυλίθου τὸ ἀργότερο πού μπορεῖ νὰ ἔγινε ἦταν στὴν πυρηναικὴ φάση ὁρογενέσεως, ὅποτε μένει γιὰ τὴ μεταλλοφορία ἓνα διάστημα ἀπὸ τὸ ἄνω—Ἡώκαινο μέχρι καὶ τὸ Ἑλβέτιο, δηλ. ἀρκετὰ μακρόν. Μιὰ τέτοια ὅμως μακροχρόνια μεταλλοφορία μόνον ἓνας πολὺ μεγάλος βαθυλίθος μπορεῖ νὰ δώσει. Ἀνάλογα μὲ τὴν ἡλικία τῶν ρηγμάτων παρουσιάζονται στὴ Λαυρεωτικὴ διάφορες γενεές μεταλλοφορίας μὲ χωριστὰ στάδια σὲ κάθε μιὰ ἀπ' αὐτές. Σὲ γενικὲς γραμμὲς ἡ διαδοχὴ τῆς μεταλλοφορίας εἶναι Fe, Zn, καὶ τελευταῖα Pb, ὥστε χαμηλότερα νὰ βρῖσκεται περισσότερος ψευδάργυρος καὶ λιγώτερος μόλυβδος, πού ἔρχεται σὲ συμφωνία μὲ τὴν παρατήρηση (17, 160) ὅτι ἡ ἀναλογία Zn: Pb εἶναι μεγαλύτερη στὴν III ἐπαφὴ Καμάριζας ἀπ' ὅτι στὴν I ἐπαφὴ Πλάκας καὶ Σουνίου, πού ὅπως εἶναι γνωστὸ βρίσκονται ψηλότερα ἀπὸ τὴν ἐπαφὴ III δηλαδὴ πιὸ μακρύτερα ἀπὸ τὸ πλουτώνειο σῶμα. Ἡ μεταλλοφορία ἐνὸς τέτοιου βαθυλίθου θὰ πρέπη, τοῦλάχιστον στὴν ὑδροθερμικὴ τῆς φάσης, νὰ μὴν περιορίζεται μόνον στὴ Λαυρεωτικὴ ἀλλὰ νὰ ἀκτινοβολῇ σὲ δλόκληρο τὸ μεταμορφωμένο τμήμα τῆς Ἀττικῆς ἀνάλογα μὲ τὴν εὐνοϊκὴ τεκτονικὴ ὠρισμένων τμημάτων τῆς περιοχῆς αὐτῆς. Οἱ σποραδικὲς ἐμφανίσεις μεταλλευμάτων στὸ βόρειο τμήμα τοῦ Ὑμηττοῦ, στὸ Πεντελικὸ καὶ στὴ Μακρόνησο, δικαιολογοῦν τὴν ἄποψη αὐτή. Τοῦναντίον ἡ μεταλλοφορία τοῦ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας σταμάτησε πολὺ γρήγορα, γιατί ἐξ αἰτίας τῆς ὀψιμοτεκτονικῆς του θέσεως καὶ τῶν μικρῶν του διαστάσεων στερεοποιήθηκε σύντομα καὶ ἔτσι ἔπαιψε νὰ τροφοδοτῆται ἀπὸ τὸ βαθύλιθο μὲ ἀποτελεσμα νὰ στερέψη γρήγορα.

Τώρα γενιῶνται φυσικὰ μερικὰ εὐλόγια ἐρωτήματα πῶς λ. χ. ἐξηγεῖται τὸ γεγονὸς ὅτι ὁ γρανοδιορίτης τοῦ Λαυρίου ἦταν πλούσιος σὲ θειοῦχα ὀρυκτὰ καὶ πτωχὸς σὲ ὀξειδία σιδήρου; Ὁ μαγνητίτης σπανίζει ὁ δὲ αἱματίτης ἀπουσιάζει ἐδῶ ἐντελῶς. Ὁ γρανοδιορίτης τῆς Σερίφου παρουσιάζει τὸ ἀντίθετο, δηλ. σὲ ἀφθονία τὰ ὀξειδία σιδήρου καὶ περιορισμένα τὰ θειοῦχα ὀρυκτὰ. Σύμφωνα μὲ τὴν βιβλιογραφία (3) πού ἀναφέραμε, ὅτι τὰ μικρὰ πλουτώνεια σῶματα παρουσιάζουν μικρὴ θειοῦχα μεταλλοφορία, θὰ ἔπρεπε ὁ γρανοδιορίτης τῆς Σερίφου, πού σὲ ὄγκο εἶναι πολὺ μεγαλύτερος ἀπὸ τὸ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας νὰ ἦταν πιὸ θειοῦχος ἀπὸ τὸν δεύτερο, πρᾶγμα πού δὲ συμβαίνει. Θὰ πρέπη λοιπὸν νὰ ἐξετασθῇ μήπως αὐτὸ ὀφείλεται ἄλλου, π. χ. στὴ διαφορετικὴ χημικὴ σύσταση τῶν μεταλλοφόρων διαλύσεων στὶς δύο αὐτὲς περιοχὲς ἢ στὶς διαφορετικὲς σχέσεις συγκεντρώσεως μέσα σ' αὐτὲς ὀξυγόνου καὶ ὑδροθείου καὶ τίς χωριστὲς πιέσεις αὐτῶν (27). Ὅπως εἶναι γνωστὸν (21) ὁ μαγνητοπυρίτης σπανίζει σὲ γρανιτικὰ πετρώματα, ἐνῶ ἀφθονεῖ σὲ περιδοτίτες, γάββρους καὶ νορίτες δηλ. στὰ βασικὰ πετρώματα, ἐνῶ στὰ ὄξινα κατὰ προτίμηση παρουσιάζεται σιδηροπυρίτης (27, 242). Ὁ μαγνητοπυρίτης κατὰ κύριον λόγο ἀποβάλλεται σχεδὸν πάντοτε ἔπειτα ἀπὸ τὴ στερεοποίηση τῶν

πυριτικών ορυκτών και είναι περίπου σύγχρονος με την εξαλλοίωση του αυγίτη σε κεροσιλίβη και τη σερικιτίωση των αστρίων δηλ. στα όρια μαγματικού και υδροθερμικού σταδίου (21). Σε σπάνιες μόνον περιπτώσεις βρίσκει κανείς ιδιόμορφους κρυστάλλους μαγνητοπυρίτη μέσα σε νεφελίνη, αστρίους, χαλαζία, αυγίτη και γρανάτη έκρηξιγενών πετρωμάτων όπως δολερίτη, γάββρου, συηνίτη (κοινοῦ και νεφελινικοῦ). Ἡ τελευταία αὐτὴ παρατήρηση ἔκανε τὸν RAMDOHR νὰ ὑποθέσῃ, ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης στὰ περισσότερα ἐκρηξιγενῆ πετρώματα κρατιέται σὲ μορφὴ διαλύσεως χάρις στὴν παρουσία εὐκολοπτητικῶν οὐσιῶν. Ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας, ὅπως εἰπώθηκε προηγουμένα, δὲν προκάλεσε γύρω του ἔντονη μεταμόρφωση πὺν σημαίνει ὅτι ὁ γρανοδιορίτης αὐτὸς δὲν ἦταν πλούσιος σὲ πτητικά ὑλικά. Ἐπομένως ἦταν εὐκολο νὰ ἀποβάλλῃ τὸ μαγνητοπυρίτη πὺν διατηροῦσε ἀκόμα σὰν διάλυση μέσα του. Μήπως λοιπὸν ἡ ἀποβολὴ ἀφθονοῦ μαγνητοπυρίτη ἀπὸ ἓνα γρανοδιορίτη σὰν αὐτὸν τῆς Πλάκας ἀποτελεῖ ἐνδεικτικὸ στοιχεῖο γιὰ τὴν ὑπαρξὴ στὴν περιοχὴ αὐτὴ μιᾶς πλούσιας μεταλλοφορίας σὲ θειοῦχα ορυκτά; Εἶναι πολὺ πιθανὸν καὶ χρειάζεται ἐξέταση. Θὰ πρέπη ἐδῶ νὰ παραδεχθοῦμε ἀκόμα, ὅτι ἡ στερεοποίηση τοῦ βαθυλίθου τῆς Λαυρεωτικῆς ἔγινε βραδύτατα, διήρκεσε τοῦλάχιστον ὅλη τὴν περίοδο ἀπὸ τὸ ἄνω Ἡώκαινο μέχρι ἄνω Μειόκαινο, ὁπότε ἔτσι μπόρεσε νὰ ἀποβάλλῃ σιγὰ - σιγὰ τὰ πτητικά καὶ τὰ μέταλλα πὺν περιεῖχε καὶ νὰ δώσῃ ἀρκετὲς φάσεις μεταλλογενέσεως.

Ἡ μεταλλοφορία τῆς Σερίφου ἔχει προέλθει ἀπ' αὐτὸν τὸν ἴδιο τὸν γρανοδιορίτη τῆς νήσου, πὺν εἶναι πολὺ μικρότερος σὲ μέγεθος ἀπὸ τὸ βαθύλιθο τῆς Λαυρεωτικῆς, ἐπομένως ἡ διαφορὰ τῆς ἀπὸ τὴν μεταλλοφορία τοῦ Λαυρίου μπορεῖ νὰ ὀφείλεται στὸ ὅτι στὶς περιοχὲς αὐτὲς θὰ ἔδρασαν διαφορετικὲς συνθήκες κρυσταλλώσεως τοῦ μεταλλοφόρου μάγματος. Ὁ γρανοδιορίτης τῆς Σερίφου στερεοποιήθηκε πιὸ γρήγορα ἀπὸ τὸν βαθύλιθο τοῦ Λαυρίου, σὰν μικρότερος πὺν ἦταν, καὶ μάλιστα πλησιέστερα στὴν ἐπιφάνεια (πορφυριτικὸς ἰστός) ἐπομένως τὰ πτητικά πὺν εἶχε μέσα του θὰ βγῆκαν μὲ γοργὸ ρυθμὸ, ὥστε οἱ χωριστὲς πιέσεις H_2S καὶ συγκεντρώσεις ὀξυγόνου θὰ ἦσαν ἐκεῖ πολὺ διαφορετικὲς ἀπ' ὅτι στὴν περίπτωσιν τοῦ Λαυρίου. Ἡ παρουσία τῶν ὀξειδίων σιδήρου στὴ Σερίφο δείχνει ὅτι τὸ μάγμα τῆς περιοχῆς αὐτῆς θὰ παρουσίασε τὴν περίοδο στερεοποίησός του ἀρκετὰ μεγάλη συγκέντρωση ὀξυγόνου. Γενικὰ μποροῦμε νὰ ποῦμε ἐδῶ γιὰ τὸ γρανοδιορίτη τῆς Σερίφου, ὅτι τὰ πολλὰ πτητικά του (τὸ H_2S καὶ S ὑστεροῦσαν ἀπέναντι στὰ ἄλλα πτητικά) ἐμπόδισαν νὰ ἀποβληθοῦν σὰν θειοῦχα τὰ μέταλλα πὺν εἶχε διαλυμένα μέσα του, ὥστε σὲ περιωρισμένη μόνο κλίμακα ἔδωσε σουλφίδια (περιοχὴ Μούτουλα). Ἔτσι ἓνα μεγάλο ποσὸν ἀπὸ τὰ μέταλλα Pb, Zn, θὰ τὸ κράτησε σκορπισμένο μέσα μου, ἢ ἓνα μέρος ἀπ' αὐτὰ θὰ βγῆκε μαζὶ μὲ τὸ μαγνητίτη ὅχι ὅμως σὲ μορφὴ θειούχων. Ἔτσι δικαιολογεῖται καὶ ἡ παρουσία μολύβδου (μέση χημικὴ σύσταση $Pb=0,28\%$) πὺν διαπιστώθηκε στὸ μαγνητικὸ σιδηρο-

μετάλλευμα της περιοχής Χαλάρων. Δεν θά ήταν μάλιστα άσκοπο νά εξετασθῇ, ἂν ἐδῶ ὁ μόλυβδος βρίσκεται μέσα στοῦ μόριο τοῦ μαγνητίτη ἢ ἀποτελεῖ πυριτικό ἄλας, γιατί τὸ θειάφι ποὺ περιέχει τὸ σιδηρομετάλλευμα Χαλάρων ($\text{SO}_3=0,55\%$) ἔχει ὅλο δεσμευθῇ μὲ χαλκὸ καὶ σίδηρο σὲ μορφή χαλκοπυρίτη καὶ σιδηροπυρίτη. Γιά τὴν παρουσία ψευδαργύρου στοῦ σιδηρομετάλλευμα αὐτὸ τῆς Σερίφου δὲν ὑπάρχουν στοιχεῖα, πάντως εἶναι κάτι ποὺ πρέπει νά ἀναμένουμε, γιατί ὁ ψευδάργυρος μπορεῖ εὐκολὰ νά ὑποκαταστήσῃ τὸ δισθενῆ σίδηρο ἀφοῦ καὶ τὰ δύο στοιχεῖα ἔχουν ἴσες ἀκτίνες ἰόντων. Δὲν πρόκειται ἐδῶ νά ἐπεκταθοῦμε σὲ ὅλα τὰ ὄρυκτά τῆς Σερίφου θά ἦταν ὅμως ἐνδιαφέρον νά ἐξετασθοῦν λεπτομερέστερα μερικὰ ἀπ' αὐτά, π. χ. ἡ προέλευση τοῦ σερπεντίνη στὰ μάρμαρα τῆς ζώνης ἐπαφῆς τοῦ γρανοδιορίτη.

Θά πρέπει νά υποθέσουμε ἀκόμη ὅτι ὁ πλουτωνίτης τῆς Σερίφου διέφερε κάπως στὴ χημικὴ σύσταση ἀπὸ τὸ βαθύλιθο τοῦ Λαυρίου, γιατί σὰν μικρὸς πλουτωνίτης προέρχεται ἀπὸ τὸ ἀνώτερο τμήμα βαθυλίθου τοῦ ὁποῖου ἡ χημικὴ σύσταση ἀλλοιώθηκε αἰσθητὰ ὅταν διείσδυσε μέσα στὰ ἱζήματα τοῦ γεωσυγκλίνου καὶ δὲν μπορεῖ φυσικὰ νά ἀνταποκρίνεται στὴ μέση χημικὴ σύσταση τοῦ βαθυλίθου. Πάντως καὶ στὶς δύο περιοχὲς τὰ μεταλλοφόρα πλουτώνεια σώματα δὲν πρέπει νά παρουσίαζαν μεγάλη διαφορὰ στὴ χημικὴ τους σύσταση γιατί καὶ στὴ μεταλλοφορία τοῦ Λαυρίου συμμετέχει μὲ μεγάλο ποσοστὸ ὁ σίδηρος, ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὴν ἀφθονία σουλφιδίων σιδήρου, μαγνητοπυρίτη καὶ πρὸ πάντων σιδηροπυρίτη, στὴν περιοχὴ αὐτὴ καὶ ἰδιαίτερα στὴν Πλάκα καὶ Διψέλιζα (2, 16). Ἀντίθετα ἀπουσιάζει ὁ βορνίτης, ὄρυκτο πλούσιο σὲ χαλκὸ καὶ φτωχὸ σὲ σίδηρο, ποὺ σχηματίζεται ὅπου δὲν ὑπάρχει ἐπάρκεια σιδήρου, ἔχει δὲ παρατηρηθῇ μιὰ ἀντιπάθεια μεταξύ βορνίτη καὶ μαγνητοπυρίτη. Ἀναλογία στὶς μεταλλογενετικὲς συνθῆκες μεταξύ Σερίφου καὶ Λαυρίου ἀναφέρει καὶ ὁ ΚΤΕΝΑΣ (12), θεωρεῖ μάλιστα τὸ μικρὸ κοίτασμα μαγνητίτη βορ. τοῦ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας ποὺ συνοδεύεται ἀπὸ ἄδρομερεῖς γρανατίτες σὰν κοίτασμα ἐπαφῆς.

Τὸ νά ἔδωσε ὁ γρανοδιορίτης τῆς Σερίφου ἐκτὸς ἀπὸ τὴ γνωστὴ θειοῦχα μεταλλοφορία τοῦ Μούτουλα καὶ ἄλλη πιὸ πλούσια, σὲ ὑδροθερμικὴ φάση, ποὺ σήμερα νά μὴ βρίσκεται λόγω ἐντατικῆς διαβρώσεως τμήματος τῆς περιοχῆς αὐτῆς, δὲν φαίνεται πιθανό. Πολὺ πιθανότερο εἶναι ὅτι ἡ μεταλλοφορία τῆς Σερίφου περιορίσθηκε στὰ ὀξεῖδια σιδήρου ἐξ αἰτίας τῶν διαφορετικῶν συνθηκῶν κρυσταλλώσεως τοῦ ἐδῶ μάγματος ποὺ καθωρίσθησαν ἀπὸ τὸ μικρὸ μέγεθος τοῦ μεταλλοφόρου πλουτωνείου σώματος δηλ. τοῦ γρανοδιορίτη, τὴ χωρογραφικὴ του θέση καὶ τὸν πρώιμο χωρισμό του δηλ. παύση τροφοδοτήσεως ἀπὸ τὸ βαθύτερα κείμενο μεγάλο πλουτώνειο σῶμα, τὸν βαθύλιθο. Ἡ παρουσία στὴν ἄλω μεταμορφώσεως τοῦ γρανοδιορίτη τῆς Σερίφου τῶν ὄρυκτῶν βολλαστονίτη (9), ἀρκετοῦ ἀνδαλουσίτη, ἡ ἀφθονία διοσιδίου, ὄχι ὅμως ἐδεμβεργίτη καὶ γρανατῶν,

γροσσουλαρίου και λίγου ὅμως ἀνδραδίτη (11, 99 και 6, 106), ὥστε νὰ συνιστοῦν αὐτὰ ἐδῶ ἐκτεταμένα πετρώματα, διοψιδίτες και γρανατίτες, ἐπίσης ἡ ὕπαρξη ἀφθόνου λιεβρίτη, πνευματολυτικοῦ πυριτικοῦ ὀρυκτοῦ με ΟΗ, δείχνουν καθαρά ὅτι ὁ γρανοδιορίτης αὐτὸς δὲν ἦταν ἐξαιρετικά πολὺ θερμός, πάντως πολὺ πρὸ θερμότερος ἀπὸ τὸ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας και συνεπῶς πρὸ νωπὸς δηλ. πρὸ πλούσιος σὲ πτητικὰ και με κατὰλληλες συνθῆκες συγκεντρώσεως τοῦ ὀξυγόνου γιὰ τὴν ἀποβολὴ τοῦ σιδήρου σὲ μορφὴ ὀξειδίων. Ἡ ἀποβολὴ αὐτὴ τοῦ σιδήρου ἀπὸ τὸ μάγμα ἐγινε ὅταν ἔφυγε ἀπ' αὐτὸ ἓνα μεγάλο μέρος τοῦ πυριτικοῦ μαγνησίου και πυριτικοῦ ἀργιλίου, πού δεσμεύτηκαν ἀπὸ τὰ μάγματα και σχημάτισαν διοψίδιο και γροσσουλάριο. Ἔτσι θὰ πρέπη νὰ ἐξηγηθῇ και ἡ σύνδεση τοῦ μαγνητίτη με διοψιδίτες και γρανατίτες πού παρατηρήθηκε στὴ Σέριφο (16 και 26) και Λαύριο (12).

Φαίνεται λοιπόν, ὅτι ἡ μεταλλοφορία (θειοῦχα και ὀξειδία σιδήρου) τοῦ Τριτογενοῦς στὴν Ἑλλάδα, συνδέεται κατὰ κύριο λόγο με ὀξίνα μάγματα τοῦ αὐτοῦ σχεδὸν τύπου, πού ἀνάλογα με τὶς συνθῆκες στερεοποιήσεως των και τὴ φύση τῶν πετρωμάτων πού τὰ περιβάλλουν ἔδωσαν ἄλλου περισσότερα θειοῦχα και ἄλλου περισσότερα ὀξειδία σιδήρου ἢ ἀνθρακικά ἄλατα αὐτοῦ. Γι' αὐτὸ θὰ ἦταν πολὺ ἐνδιαφέρον νὰ ἐξεταστοῦν ἀπὸ τὴν ἄποψη αὐτὴ ὅλα τὰ περιμαγματικά και ἀπομαγματικά κοιτάσματα τῆς περιοχῆς τοῦ Αἰγαίου και πρῶτα ἂν τὰ σιδηρομεταλλεύματα μαγματικῆς προελεύσεως, ὅπως αὐτὰ τοῦ Γραμματικοῦ, Κέας, Κύθνου και Σίφνου, συνδέονται με μικρὰ πλουτώνεια σώματα πού βρίσκονται στὴν ἴδια τεκτονικὴ γραμμὴ με ΒΔ διεύθυνση, ὅπως ὁ μικρὸς πλουτωνίτης τῆς Σερίφου και στερεοποιήθησαν κοντὰ στὴν ἐπιφάνεια ὅπως αὐτός. Εἶναι πολὺ πιθανὸν ὅτι ἐδῶ πρόκειται γιὰ γρανοδιοριτικές ἀποφύσεις τοῦ ἴδιου μεγάλου γρανιτικοῦ βαθυλίθου. Αὐτὸ συμφωνεῖ με τὴν ἄποψη ΚΤΕΝΑ (10) ὅτι ὑπάρχει ἀναλογία στὴ φύση τῶν γρανιτικῶν ἐκρήξεων Ἀττικῆς και Κυκλάδων, θὰ πρέπη ὅμως νὰ ἐξεταστοῦν ὅλες αὐτὲς και ἀπὸ κοιτασματολογικὴ ἄποψη και νὰ ἀναζητηθοῦν οἱ παράγοντες πού καθώρισαν τὸ εἶδος μεταλλογενέσεως ἰδιαίτερα σὲ κάθε ἓνα ἀπὸ τὰ πλουτώνεια σώματα Αἰγαίου. Ἔτσι θὰ μπορέσουν νὰ βγοῦν ἀργότερα πολλὰ πρακτικά συμπεράσματα γιὰ τὴν κοιτασματολογία τῶν Ἑλληνικῶν περιοχῶν.

ZUSAMMENFASSUNG

Aus den magnetischen Messungen auf Magnetkies - Proben aus Plaka - Laurion bei verschiedenen Temperaturen geht heraus, dass dieses Mineral dem a-Typus von Magnetkiesen gehört, die bei hoher Temperatur entstanden sind. Der Magnetkies aus Laurion ist schwach magnetisch mit einem CP bei 280° C. Bei Erhitzung zeigt er magnetische Umwandlungen und bekommt ferromagnetische Eigenschaften.
Ψηφιακὴ Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

schaften, die er auch später nach der Abkühlung behält. Seiner Suszeptibilität nach (Tafel I) stellt er sich in die Mitte zwischen dem Magnetkies von Falun (pneumatolytische Bildung) und dem Magnetkies von Sulitelma (hoch hydrothermale Bild.). Seine Paragenese tritt hier nur Kupferkies auf und fehlen fast völlig Bleiglanz, Zinkblende und Pyrit – lässt nicht den Magnetkies aus Plaka als eine hydrothermale Bildung betrachten, die durch eine nachträgliche Erhitzung an Schwefel verarmt und dabei in die paramagnetische Form des Magnetkies übergegangen ist. Dies alles und seine Lage um den Granodiorit von Plaka herum sprechen wohl für eine kontaktneumatolytische Bildung.

Demnach ist die Auffassung, dass der Magnetkies aus Plaka-Laurion durch Dissoziation eines, vor der Intrusion des Granodiorits dort vorhandenen, Pyrits entstanden sei, nicht mehr berechtigt. Ausserdem schliesst die Stärke dieses Materials von etwa 10 Meter in Plaka eine solche Bildungsart vollkommen aus. Die erzmikroskopische Untersuchung des neben dem Magnetkies vorhandenen und dem Pyrit ähnlichen Minerals hat weiter gezeigt, dass es kein Pyrit ist, der infolge seiner grösseren Entfernung von dem Granodiorit nicht in Magnetkies übergegangen ist, sondern dass es ein Zwischenprodukt ist, das sich bei der Verwitterung des Magnetkieses bildet, wobei ein Teil des Eisens weggeführt, und dadurch das Verwitterungsprodukt des Magnetkieses an Schwefel angereichert ist. Von magnetischem Standpunkt aus, entspricht dieses Produkt dem ferromagnetischen Typ von Magnetkiesen (Fig. 1), mit einem CP bei 325°C.

Der Magnetkies aus Plaka – Laurion, wie es aus den magnetischen Messungen zu entnehmen ist, wurde nach seiner Bildung nicht mehr bis auf 280° C (CP) wiedererhitzt, sonst müsste er die ferromagnetischen Eigenschaften der b-Form des Magnetkieses aufweisen. Dies deutet darauf hin, dass er keine vor der Intrusion des Granodiorits vorhandene Bildung sein kann. Es ist auch denkbar, dass dieser Granodiorit nicht recht heiss während seiner Intrusion und dabei sehr arm an leichtflüchtige Substanzen gewesen ist, sodass er mit Recht als eine spätorigene Intrusion gedeutet wurde. So erklärt sich das Fehlen von typischen in Schiefen Kontaktmineralien, wie Sillimanit, und Andalusit, das letzte Mineral kommt reichlich in Seriphos vor, und das Auftreten von Alkalifeldspäte in dem Hornfels von Plaka.

Die über dem Lavriotiki – Gebiet verbreitete sulfidische Vererzung und das Auftreten hier des Magnetkieses auch in der hydrothermalen Plase lassen vermuten, dass die Erzbildung von Lavriotiki nicht mit dem kleinen Granodiorit – Pluton von Plaka, sondern

mit einem viel grösseren und älteren Pluton, Bathylith, in Zusammenhang steht, was schon von anderen Autoren angenommen wurde. Die Intrusion des Granodiorits in die Glimmerschiefer bei Plaka erfolgte mit einer jungalpidischen orogenen Phase. Nachträglich wurde das Gebiet von Lavriotiki noch von einer anderen schwächeren orogenen Phase betroffen, wodurch die Kontaktschiefer z. T. in Brezien zerfallen sind.

Der Verfasser vertritt die Ansicht, dass der Plaka - Granodiorit aus einem sehr grossen synorogenen Bathylith entstammt ist, der schwefelreich gewesen ist, und dessen Erstarrung sehr langsam vor sich gegangen ist (wenigstens von ob. Eozän bis Helvet). Diese enorme Dauer der Erstarrung gab die Möglichkeit einer starken Erzausscheidung im Gebiet von Lavriotiki, das durch die starke tektonische Beanspruchung ein sehr reiches Kluftsystem bekommen hat, welches sehr günstig für den Mineralabsatz gewesen war. Die Mineralisation gliedert sich hier in verschiedenen Generationen und Phasen je nach dem Alter der Sprünge und Klüfte, an die sie gebunden ist, und die Erze «Blende - Pyrite - Galène» sind aszendanthydrothermalen Natur. Die Ausscheidungsfolge ist Fe, Zn, Pb, so dass das Verhältnis Zn/Pb nach der Tiefe hin, d. h. näher zu dem Magma, grössere Werte bekommt. Es sei hier noch eine Phase mit schwarzer, eisenreicher, typisch hochtemperierter Zinkblende bei Plaka und Kamarisa erwähnt, die seltenen Spurenelemente, Indium und Germanium, wie auch Zinn enthält.

Die Erzausscheidung soll sich nicht nur auf dem Gebiet von Ost - Lavriotiki beschränkt haben, wo sie bevorzugt vor sich gegangen ist, sondern wird sie sich, wenn auch in geringerem Ausmasse, über andere noch Gebiete des Metamorphikums von Attika ausbreiten, die tektonisch-lagerstättenkundlich noch nicht eingehend untersucht worden sind. Der Magnetkies von Plaka verdankt seine Bildung dem Granodiorit dieses Gebiets, der nicht in einem so warmen Zustand wie in Seriphos und mit wenigen leichtflüchtigen Substanzen aufgestiegen ist. Es erhebt sich hier die Frage, ob die reichliche Magnetkiesausscheidung von einem Granodiorit auf eine reiche sulfidische Erzbildung hindeutet.

Der mächtige Granodioritkörper von Insel Seriphos ist im Gegensatz zu dem kleinen Granodiorit von Plaka durch eine reiche oxydische Eisenerzbildung, aber schwache sulfidische Erzbildung, gekennzeichnet. Die Hauptvererzung besteht aus Magnetit unter ausgedehnter Diopsid- und Granat- (Grossular-) Verskarnung des Nebengesteins. Daneben tritt auch reichlich Andalusit und Lievrit und gelegentlich Wollastonit auf. Granat und Diopsid sind so verbreitet,

dass sie stellenweise richtige Granat- und Diopsid- Felse bauen. Als Erzbringer ist in Seriphos der Granodiorit selbst zu betrachten. Die schnelle Erstarrung dieses Magmas (porphyritische Struktur) und die Anwesenheit leichtflüchtiger Substanzen haben vermutlich gegen die Ausscheidung von Sulfiden bewirkt. Der Granodiorit von Seriphos kommt aus den oberen Partien eines tiefer vorhandenen Bathyliths her, deren chemische Zusammensetzung bei seiner Abkühlung verändert wurde. Sonst sind beide Magmen eisenreich gewesen, da in Laurion viel Magnetkies, und besonders sehr viel Pyrit auftritt; dagegen kommt hier kein Bornit vor.

Es scheint hier, dass die tertiäre Erzbildung im ägäischen Gebiet an ein saueres Erzmagma gebunden ist, das je nach den lokalen Verhältnissen seiner Erstarrung und dem Wert der partialen S - Drucke und der Konzentrationen des Sauerstoffes hier zu einer reichen Sulfid- dort zu einer überwiegend reichen Eisenoxyd - Ausscheidung oder Karbonatbildung kam. Die Bildung der Eisenoxyde wurde hier durch die frühere Ausscheidung von Mg - und Al - Silikaten bedingt, die an Karbonate (Kalke) gebunden sind (Diopsid und Grossular - Bildung). Es steht zu erwarten, was die Untersuchung der anderen perimagmatischen und apomagmatischen Erzlagestätten des ägäischen Gebiets von diesem Standpunkt aus herausbringen wird. Besonders wichtig ist die Frage, ob die Eisenerzlagestätten magmatischer Abfolge (Grammatikon, Kea, Kythnos und Siphnos) genetisch mit kleinen Plutonen verknüpft sind, die auf derselben Störungslinie von NNW- Richtung liegen, wie es der Fall mit dem Pluton von Seriphos ist.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ALLEN-CRENSHAW-JOHNSTON —Die mineralischen Eisensulfide. *Zt. f. anorg. Chem.*, 76 (1912) 209—273.
2. ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΟΡ. —Ἐκθέσις περὶ τῶν μεταλλοφόρων κοιτασμάτων τοῦ Λαυρίου. *Γεωλ. Ἀναγνωρίσεις*. No 24. Ι.Γ.Ε.Υ. Ἀθήναι, 1955.
3. EDWARDS, B. A. —Textures of the Ore Minerals, Melbourne 1954.
4. GILBERT, G. —The significance of hematite in certain ores deposits. *Econ. Geol.* 21 1926 p. 560.
5. » » —The Antipathy of Bornite und Pyrrhotite. *Econ. Geol.* 20, 1925, 364—370.
6. HEZNER, L. —Petrographische Untersuchung der kristallinen Schiefer auf der Südseite des St. Gotthard, *N. J. Min.* 27, 1909, 117.

- 7 KISKYRAS, D. — Einige Bemerkungen über die magnetischen Eigenschaften der Mineralien des Systems FeS—FeS₂. *Beiträge zur angewandten Geophysik*, Bd. 10, 1943, S. 308—311.
8. > > — Untersuchungen der magnetischen Eigenschaften des Magnetkieses bei verschiedenen Temperaturen in besonderem Hinblick auf seine Entstehung. *N. J. f. Min.* Bd. 80, (Abt. A 1950). S. 287—342.
9. ΚΤΕΝΑΣ, C. — Les phénomènes métamorphiques à l'île de Sériphos. *C. R.* 158, p. 720.
10. > > — Sur les relations pétrographiques existant entre l'île de Sériphos et les formations environnantes. *C. R.* 158, 878.
11. ΚΤΕΝΑΣ, K. — Έρευναι περί τῆς μεταλλογενείας τῆς Ν.Δ. Αἰγίδος. *Ἐπιστ. Ἐπετηρὶς Παν/μίου Ἀθηνῶν*, 13, 85—133, Ἀθῆναι 1917.
12. > > — Ἐκθέσεις περί τῶν κατὰ τὰ ἔτη 1928 καὶ 1929 γενομένων γεωλογικῶν ἐρευνῶν. *Πρακτ. Ἀκαδ. Ἀθηνῶν*, 5, (1930) 92.
13. ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ. — Νεώτεραι γεωλογικαὶ καὶ πετρολογικαὶ ἐρευναι ἐπὶ τοῦ γρανίτου τῆς Πλάκας τῆς Λαυρεωτικῆς. *Πρακτ. Ἀκαδ. Ἀθηνῶν*, 12, 1937.
14. > > — Ὁ Γρανίτης τῆς Πλάκας τῆς Λαυρεωτικῆς καὶ ἡ περίξ αὐτοῦ μεταμόρφωσις ἐξ ἐπαφῆς, Διδ. Διατρ. Ἀθῆναι 1937.
15. ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ. — The ores of Lead and Zink in Greece. *Int. Geol. Congr.* 1948
16. ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ. — Γεωλογία καὶ μεταλλογένεια τῆς νήσου Σερίφου. *Δημοσιεύμ. Ἰνστιτούτου Γεωλ.* 1, Ἀθῆναι 1951, 95—127.
17. ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ. καὶ PETRASCHICK, E. W. — Τὸ Λαύριον, Ἀθῆναι, 1957.
18. MOEHLMAN, S. R. — Econ. Geol. 30 1936, 750—764.
19. MAUCHER, A. — Über die Kieslagerstätte der Grube «Bayerland» bei Waldsassen. *Zt. angew. Min.* 1939, 218.
20. PUTZER, H. — Die Erzlagerstätten von Laurion. *Ann. géol. pays Hell.* 2, 1948, 16—46.
21. RAMDOHR, P. — Die Erzminerallien in gewöhnlichen magmatischen Gesteinen. *Abh. Preuss. Ak. Wiss.* 1940. Math. nat. Kl. Nr. 2.
22. > > — Die Erzminerallien und ihre Verwachsungen, Berlin 1951.
23. SCHNEIDERHÖHN—RAMDOHR. — Lehrbuch der Erzmikroskopie, II, Berlin, 1931.
24. SINDOWSKI, H. K. — Der geologische Bau von Attika. *Ann. geol. pays Hell.* 2, 1949, 163—218
25. VOGT, TH. — Origin of the injected pyrite deposits. *Norges Tekniski Högskola*, 1935, 594.
26. ΖΑΧΟΣ, Κ. — Γεωμαγνητική ἔρευνα στὴ νήσο Σέριφο. Γεωλογικαὶ καὶ γεωφυσικαὶ μελέται, Τομ. 1, Ὑπουργ. Συντονισμοῦ Ἀθῆναι, 1951.
27. ΜΠΕΤΕΧΤΙΝ, Α. — Βασικά προβλήματα γιὰ τὴ γνώση τῶν μαγματικῶν κοιτασμάτων (Στὰ ρωσσικά, Ἐκδόσεις Ἀκαδ. Ἐπιστημῶν СССР). Μόσχα, 1955.